

УДК 316.4:303.094.7

Венгеріна І. Є.

## ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СОЦІАЛЬНИХ ЯВИЩ ТА ПРОЦЕСІВ

*У пропонованій статті описано суть методів імітаційного моделювання, що можуть застосовуватися під час аналізу соціальних явищ та процесів. Розглянуто основні методи соціального імітаційного моделювання (системну динаміку, мікроаналітичне моделювання та агентне моделювання) та проілюстровано сфери їх найактивнішого використання.*

**Ключові слова:** комп'ютаційна соціологія, імітаційне моделювання, системна динаміка, мікроаналітичне моделювання, агентне моделювання.

*Так само як Галілей використовував телескоп як ключовий інструмент для спостереження та отримання глибшого й емпірично правильного розуміння матеріального світу, так і соціологи, що займаються комп'ютаційною соціологією, вчать використовувати розвинені та дедалі потужніші інструменти обчислення, аби побачити за видимий спектр більш традиційних дисциплінарних методів аналізу.*

Клаудіо Кіоффі-Ревілла

Розвиток наукових дисциплін супроводжується їх зближенням між собою та створенням проміжних царин знання. Комп'ютаційна соціологія є галуззю соціології, що базується на застосуванні складних методів обчислення під час побудови моделей та аналізу соціальних феноменів. Вона охоплює широкий спектр різних методів, зокрема, імітаційне моделювання, аналіз соціальних мереж, автоматичний витяг інформації тощо. На цей момент в університетах США та Європи діють підрозділи комп'ютаційної соціології, а також організації та асоціації, що вивчають, систематизують, застосовують методи комп'ютерного моделювання загалом та імітаційного моделювання зокрема для аналізу соціальних процесів та явищ, є спеціалізовані журнали на цю тему. Тому можна говорити про існування цілої спільноти спеціалістів, які активно використовують цей інструмент у своїх дослідженнях. В Україні дотепер практично немає досвіду застосування методів імітаційного моделювання в межах соціологічних досліджень. Такий стан речей приводить до майже повної відсутності літератури з цієї тематики, єдиного понятійного апарату, доступу до прикладів успішного використання цих методів.

Основною метою цієї статті є загальний огляд застосування методів імітаційного моделювання у дослідженнях соціальних явищ та процесів. Відповідно, завданнями статті є визначити загальну логіку методів імітаційного моделювання, охарактеризувати найпопулярніші імітаційні методи моделювання та проілюструвати сфери їх застосування.

Побудова моделі є широко застосованим методом дослідження, що допомагає зрозуміти процеси та явища (які зокрема можуть мати місце у реальному світі) опосередковано за допомогою створення їхніх спрощених репрезентацій. Він може застосовуватися зокрема у ситуаціях та для тих об'єктів дослідження, коли спостереження та проведення експериментів із реальним явищем є неможливим або занадто ресурсоємним.

Імітаційне моделювання є методом аналізу складних систем. Будь-яка соціальна система, відповідно до постулатів комп'ютаційної теорії соціальних систем А. Давидова, потенційно може бути реалізована у комп'ютерній системі за допомогою певної мови програмування на основі однієї чи декількох комп'ютерних імітаційних моделей [1, с. 19]. Коли мова йде про імітаційне моделювання, під моделлю зазвичай розуміють комп'ютерну модель, тобто комп'ютерну програму, що репрезентує явища та процеси, які існують у соціальному світі. Імітація є процесом «виконання»/«прогону» моделі, який примушує модель пройти через послідовність змін станів (дискретних чи континуальних). Імітаційні моделі мають «входи» інформації, тобто атрибути та параметри, що забезпечують відповідність моделі реальним об'єктам та явищам і вводяться дослідником, та «виходи» інформації, які дослідник спостерігає в результаті «прогону», що є поведінкою моделі після її «виконання».

Імітаційне моделювання дає можливість зрозуміти поведінку системи, передбачити її стан у майбутньому, проводити тренування, відкривати

нові властивості та явища, оцінювати масштаби явища/проблеми, виявляти фактори, що впливають на формування такого стану речей та поширення проблеми. Окрім того, імітаційне моделювання дозволяє проводити оцінку чутливості поведінки моделі до визначених факторів, оскільки не лише саме по собі розуміння зовнішніх факторів є важливою можливістю цього методу, а й оцінка ймовірних змін поведінки моделі від тієї чи тієї зміни цих факторів. Специфіка імітаційного моделювання як методу дослідження полягає у тому, що метод уможливорює проведення комп'ютерних експериментів, і дослідник може «зафіксувати» потрібні змінні, впливаючи та змінюючи лише деякі з них. Відповідно, порівняння таких прогонів моделі із контрольним прогоном (тобто прогоном без впливу на вказані параметри) дають оцінку чутливості досліджуваного явища від зовнішніх факторів, що є у фокусі уваги. Таким чином, ще однією можливістю імітаційного моделювання є розробка та аналіз політики, зокрема соціальної.

Використання імітаційного моделювання в рамках соціальних наук є порівняно новим підходом. Хоча перші приклади з'явилися ще у 1960-х, поширення ця методологія набула лише починаючи з 1990-х, що є логічно пов'язаним із розвитком комп'ютерних технологій. Розвиток імітаційного моделювання привів до утворення різних методів імітаційного моделювання, кожен з яких має свою історію застосування, вимоги до вхідних даних та, відповідно, різні типи отриманих результатів на виході, а також свої переваги та недоліки. Трьома найбільш активно застосованими з них є системна динаміка, мікроаналітичне моделювання та агентне моделювання.

### Системна динаміка

Починаючи з 1960-х набуває поширення використання комп'ютерів для імітації процесів в організаціях, промисловості, містах та навіть на глобальному рівні, наприклад, населення світу. В основу цих імітацій було покладено метод системної динаміки, за якого створюють модель, що відображає тимчасові причинно-наслідкові зв'язки між змінними, виражені з математичного погляду системою різницевих та/чи диференціальних рівнянь. Цільову систему, з її властивостями та динамікою, описують за допомогою системи таких рівнянь, які визначають майбутній стан системи залежно від її поточного стану.

Однією з перших та найвідоміших моделей системної динаміки є модель світу Дж. Форестера, яку використовували для передбачення майбутньої чисельності населення, рівнів його зростання та рівнів споживання природних ресурсів

[3]. Ця модель розвивалася та вдосконалювалася, давши народження моделі світового розвитку «Світ 3», що її розробила група дослідників Массачусетського технологічного інституту під керівництвом Д. Медоуза [14]. Вона також належить до сфери глобального моделювання і досліджує довгострокові тенденції розвитку великих соціальних систем, беручи до уваги взаємозв'язок демографічних, економічних, екологічних факторів. Ця модель досі є популярною, у 2004 році було опубліковано оновлені результати передбачення моделі, які підтверджують висунутий у 1972 році висновок проте, що за збереження тенденцій сучасного приросту населення та економічного розвитку світ у найближчі півстоліття прийде до колапсу [15].

Системна динаміка, як лаконічно зазначають Н. Гілберт та К. Троїч, є обмеженою до макрорівня в тому, що вона моделює частину реальності як неподільне ціле, чиї властивості потім описуються множиною атрибутів у формі змінних «рівнів» та «відношень», що репрезентують стан цілої цільової системи та її зміну [10, с. 28]. Системна динаміка є методом, який в основі своїй є «низхідним» («top-down») і не дає можливості аналізу явища чи процесу на мікрорівні. Така обмеженість і стала основним поштовхом для розвитку інших, «висхідних» («bottom-up») методів моделювання, зокрема мікроаналітичного.

### Мікроаналітичне моделювання

Засновником методу мікроаналітичного моделювання вважають Г. Оркута, який у 1957 р. у своїй статті «Новий тип соціально-економічної системи» ввів це поняття та описав суть цього методу. Оркут зазначав, що «сучасні моделі соціально-економічної системи лише передбачають агреговані дані, але їх недоліком є неможливість передбачення розподілу індивідів, домогосподарств чи організацій у одновимірних чи багатовимірних класифікаціях» [17, с. 116]. Саме така обмеженість і привернула увагу до необхідності створення моделей, які під час аналізу даних на агрегованому рівні враховували б індивідуальний рівень як одиницю аналізу, – і «...така агрегація не може бути коректно виконана без прийнятної моделі тієї самої соціально-економічної системи, що базується на поведінці та взаємодії елементарних одиниць, які приймають рішення. Тоді і лише тоді може бути знайдено шляхи агрегувати взаємодії без катастрофічної втрати точності передачі» [17, с. 116]. Отже, мікроаналітичні моделі мають у своїй основі щонайменше два рівні – індивідуальний та агрегований, при цьому на індивідуальному рівні можуть бути індивіди, домогос-

подарства, фірми тощо. Кожен з елементів індивідуального рівня має певні характеристики, наприклад, вік, стать, дохід, сімейний стан тощо, на період збору даних.

Розрізняють статичне та динамічне мікроаналітичне моделювання.

За статичного мікроаналітичного моделювання демографічну або будь-яку іншу структуру моделі зважують відповідно до певної зовнішньої інформації, яка цікавить дослідника. Податкова система є наразі основною сферою застосування статичного мікроаналітичного моделювання. Моделі такого роду існують та використовуються у різних країнах світу, зокрема мікроаналітична модель Eufomod, яка охоплює 19 країн Європи [8], мікроаналітичні моделі податкової системи США ITEX [12] та TRIM [23], мікроаналітична модель податкової системи Великої Британії POLIMOD [18] та ін.

У динамічних мікроаналітичних моделях демографічна структура населення, що моделюється, змінюється за рахунок «старіння» кожного елементу моделі індивідуально відповідно до таблиць тривалості життя та за рахунок утворення нових елементів, наприклад, народження нових індивідів або формування нових домогосподарств. Елементи, таким чином, змінюють свої характеристики на кожному кроці роботи моделі з погляду демографічних та інших соціальних параметрів. Зміни відбуваються на основі так званих імовірностей переходу.

В Україні у 70–80-х роках існувала динамічна мікроаналітична імітаційна модель «Труд-1», розроблена В. Паніотто та Л. Фінкелем, – частина загального проекту, що проводився з метою аналізу структури трудової зайнятості великого міста. «Труд-1» була моделлю професійно-кваліфікаційної структури міста Києва і відображала трудову мобільність індивідів у межах цієї структури з метою прогнозування соціальних наслідків прийняття рішень про структуру робочих місць та видів навчальних закладів тощо [2, с. 147–165].

На сьогодні основною сферою застосування динамічного мікроаналітичного моделювання є демографічні прогнози та розробка соціальної політики (наприклад, системи соціального захисту та/чи пенсійного забезпечення). Як і у випадку зі статичним мікроаналітичним моделюванням, у багатьох розвинених країнах світу існують динамічні мікроаналітичні моделі, які прогнозують чисельність та склад населення на майбутні роки та допомагають у розробці пенсійної політики, системи соціального захисту, підтримці планування та менеджменту тощо. Зокрема, можна відзначити динамічну мікроаналітичну модель Канади DYNACAN [7], динаміч-

ну мікроаналітичну модель населення Швеції SESIM [20], динамічну модель пенсійних доходів США MINT [16] тощо.

Мікроаналітичне моделювання було особливо популярним у 70–80-ті роки, однак починаючи із 90-х років XX століття цей метод використовується значно менше, натомість переважну частку імітаційних соціальних моделей становлять агентні моделі. Основною причиною цього є нездатність мікроаналітичного моделювання включати в роботу моделі взаємодію елементів. Цікавим є той факт, що Г. Оркут у першій своїй статті, присвяченій мікроаналітичному моделюванню, зазначає, що саме елементи, які взаємодіють між собою (індивіди, домогосподарства, фірми тощо), є елементарними одиницями, що входять до складу моделей. Однак це так і не було повноцінно реалізовано у мікроаналітичних моделях, що стало однією із ключових проблем цього методу, давши поштовх розвитку та застосуванню агентного моделювання під час дослідження соціальних процесів.

#### Агентне моделювання

Агентне моделювання умовно вважають «третьою хвилею» розвитку методів імітаційного моделювання. Термін «агент» з погляду імітаційного моделювання є конвенційним поняттям, яке описує комп'ютерну програму, або частину програми, що в межах цієї моделі репрезентує окремого індивіда, організацію, державу або іншого соціального актора. Комп'ютерний агент імітує поведінку та властивості соціального актора, його відносини із соціальним та природним середовищем. Як і мікроаналітичне моделювання, моделювання агентне є так званим висхідним методом, оскільки саме за рахунок дій та взаємодій агентів виникають додаткові явища та структури.

Виділяють чотири основні властивості комп'ютерних агентів, які лежать в основі моделювання дій агентів [10, с. 173]:

- автономність – агенти діють незалежно від наявності інших агентів, контролюючи свої дії та внутрішній стан;
- соціальність – агенти взаємодіють із іншими агентами за допомогою «мови» (комп'ютерної);
- реактивність – агенти можуть сприймати оточення та реагувати на нього;
- проактивність – агенти можуть брати на себе ініціативу, маючи цілеспрямовану поведінку.

У найпростішому вигляді агентні моделі дуже схожі на клітинні автомати. Так, одним із класичних та найпростіших прикладів агент-

них соціальних моделей є модель сегрегації, запропонована Т. Шелінгом у 1971 році, яка пояснювала виникнення расової сегрегації в американських містах. Модель створена на основі квадрата клітин, що репрезентує територію міста, на якій випадковим чином розміщуються агенти, які репрезентують домогосподарства. На кожен момент часу кожна із клітин може бути вільною або зайнятою агентом-домогосподарством, що можуть бути двох типів (класично, «червоними» та «зеленими»). На кожній точці часу роботи моделі кожен із агентів підраховує кількість агентів іншого типу у своєму безпосередньому оточенні, і у випадку, якщо кількість «інших» домогосподарств перевищує його «порог толерантності», агент змінює місце проживання, тобто займає випадковим чином вільну клітину в іншому місці квадрата. Цей процес відбувається послідовно для кожного із агентів-домогосподарств, а далі може повторюватися потрібну кількість разів, або ж доти, доки система не досягне стану рівноваги. Звісно, ця модель є дуже спрощеною та абстрактною, але вона мала значний вплив на подальший розвиток методів імітаційного моделювання. Насамперед за рахунок того, що, хоч і є дуже простою для розуміння, модель наочно демонструє емерджентність глобальних структур (кластерів) із індивідуального рівня. За останні 40 років цю модель постійно аналізують, допрацьовують та ускладнюють. Останнім часом тривають роботи з введення у модель замість абстрактного квадрата реальної території міста та додавання у модель інших факторів окрім «порогу толерантності», зокрема, фактора доступності житла у бажаних районах тощо [9, с. 8].

Огляд літератури дає підстави стверджувати, що більшість базових праць, які присвячені імітаційному моделюванню у соціальних науках, використовують як приклади саме такі абстрактні, спрощені моделі, натомість конкретні моделі, що пройшли валідацію, практично не описують та не використовують для ілюстрації можливостей агентного імітаційного моделювання. Такого ж висновку доходить Е. Шато-Браун, наводячи, на противагу, два приклади досить простих агентних імітаційних моделей, які при цьому базувались на реальних даних, пройшли калібровку та валідацію – моделі поширення інновацій Т. Хагерстранда й моделі відповідності ставлень і виборів Дж.-П. Гремі та Р. Будона [5].

Умовно можна виділити дві «школи» агентного імітаційного моделювання в соціальних науках – у США та у Європі, які вельми відрізняються одна від одної.

У США дослідження сконцентровано передусім навколо інституту Санта-Фе і вивчення комплексних адаптивних систем. Основними темами досліджень є походження життя, еволюція інформації, розвиток мови, еволюція суспільств, передбачення та управління конфліктами та ін. [19], що є комплексними та міждисциплінарними.

Розвиток імітаційного агентного моделювання у Європі, на противагу, проходить «з іншого боку», а саме з боку соціальних наук та дослідників, які застосовують імітаційне моделювання як ще один інструмент для перевірки теорій та результатів. Наразі в Європі існує декілька основних дослідницьких центрів, які активно застосовують агентне імітаційне моделювання, а саме:

- Центр досліджень із соціального імітаційного моделювання (CRESS, Centre for Research in Social Simulation, Велика Британія), проекти якого перш за все пов'язані із поширенням інновацій та моделюванням соціальних мереж [6];
- Центр моделювання політики (Centre for Policy Modelling, Велика Британія) [4];
- Лабораторія соціального агентного моделювання (Laboratory for agent based social simulation, Італія) [13] та Інститут когнітивних наук та технологій (Institute of Cognitive Sciences and Technologies, Італія) [11], дослідження яких пов'язані із моделюванням процесів пізнання та штучного інтелекту, а також виникненням та поширенням норм у суспільстві;
- дослідницька група корпорації Юнілевер (Unilever, Велика Британія), що займається імітаційним моделюванням ринків та споживачької поведінки.

Окрім того, існує Європейська асоціація соціального імітаційного моделювання (The European Social Simulation Association) [21], проводяться щорічні конференції, воркшопи, конгреси; видається електронний журнал JASSS (The Journal of Artificial Societies and Social Simulation) [22].

Узагальнюючи усе вищезазначене, можемо стверджувати, що методи імітаційного моделювання загалом та агентне моделювання зокрема є нині популярним інструментом аналізу процесів, передусім нелінійних, які мають місце у складних соціальних системах. Хоча дотепер в Україні соціальне імітаційне моделювання практично не використовувалося, такий стан речей, на нашу думку, може і має бути виправленим. Адже не варто нехтувати тими можливостями, які відкриває для соціологів розвиток комп'ютерних технологій та методів обчислення.



1. Давыдов А. Системная социология / А. Давыдов. – изд. 2-е. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 192 с.
2. Опыт моделирования социальных процессов (Вопросы методологии и методики построения моделей) / В. И. Паниотто, Л. А. Закревская, А. В. Черноволонко и др. ; Ин-т философии. – К. : Наук. думка, 1989. – 200 с.
3. Форрестер Д. Мировая динамика / Д. Форрестер. – М. : ООО «Издательство АСТ» ; СПб. : Terra Fantastica, 2003. – 379 с.
4. Centre for Policy Modelling [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cfpm.org/>. – Назва з екрана.
5. Chattoe-Brown E. Is Simulation Forgetting Its History? Two Case Studies [Электронный ресурс] / E. Chattoe-Brown. – 2010. – Режим доступа : <http://www.le.ac.uk/so/ecb18/simforgetweb.doc>. – Назва з екрана.
6. CRESS - Centre for Research in Social Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cress.soc.surrey.ac.uk/web/home>. – Назва з екрана.
7. DYNACAN: a full-fledged Canadian actuarial stochastic model designed for the fiscal and policy analysis of social security scheme [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.actuaries.org/CTTEES\\_SOCSEC/Documents/dynacan.pdf](http://www.actuaries.org/CTTEES_SOCSEC/Documents/dynacan.pdf). – Назва з екрана.
8. EUROMOD. Tax-benefit microsimulation model for the European Union [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.iser.essex.ac.uk/euromod>. – Назва з екрана.
9. Gilbert N. Agent-based models / N. Gilbert. – Sage Publications Inc., 2007. – 98 p.
10. Gilbert N. Simulation for Social Scientists / N. Gilbert, K. Troitzsch. – 2nd edition. – New York : Open University Press, 2005. – 295 p.
11. Institute of Cognitive Sciences and Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.istc.cnr.it/>. – Назва з екрана.
12. ITEP. Microsimulation Tax Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.itenet.org/about/ITEP\\_tax\\_model\\_simple.php](http://www.itenet.org/about/ITEP_tax_model_simple.php). – Назва з екрана.
13. Laboratory of agent based social simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://labss.istc.cnr.it/>. – Назва з екрана.
14. Meadows, Donella, J. Randers and D. Meadows. Limits to Growth. - New York : Universe Books, 1972. – 205 p.
15. Meadows, Donella, J. Randers and D. Meadows. Limits to Growth: The Thirty Year Update. – White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing Co., 2004. – 368 p.
16. Modeling Income in the Near Term: Revised Projections of Retirement Income Through 2020 for the 1931–1960 Birth Cohorts. Final Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.urban.org/publications/410609.html>. – Назва з екрана.
17. Orcutt G. A New Type of Socio-Economic System [Электронный ресурс] / G. Orcutt // The Review of Economics and Statistics – 1957. – Vol. 39, No. 2. – Pp. 116–123. – Режим доступа : <http://www.jstor.org/stable/1928528>. – Назва з екрана.
18. POLIMOD. Tax-benefit microsimulation model of UK [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.iser.essex.ac.uk/euromod/microsimulation-unit/polimod>. – Назва з екрана.
19. Santa Fe Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.santafe.edu/about/institute-profile/>. – Назва з екрана.
20. SESIM. A simulation model of the Swedish population [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sesim.org/>. – Назва з екрана.
21. The European Social Simulation Association [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.essa.eu.org/>. – Назва з екрана.
22. The Journal of Artificial Societies and Social Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>. – Назва з екрана.
23. Transfer Income Model. Version 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://trim3.urban.org/T3Welcome.php>. – Назва з екрана.

*I. Vengrina*

## SOCIAL SIMULATION METHODS IN THE ANALYSIS OF SOCIAL PHENOMENA AND PROCESSES

*In the proposed article essence of social simulation methods that can be used for analysis of social processes and phenomena is presented. Key social simulation methods (system dynamics, microanalytic simulation and agent-based modeling) are examined and fields of their most active usage are illustrated.*

**Keywords:** computational sociology, social simulation, system dynamics, microanalytic simulation, agent-based modeling.